

STUDI MIKROSKOPIK MEMBRAN BERPORI TiO_2 BERBASIS *POLYMETHYL METHACRYLATE* SEBAGAI *TEMPLATE*

Jan Ady¹⁾, Eka Viandari¹⁾

¹⁾Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga
e-mail : jan_ady@yahoo.com; ekaviandari@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu sumber pencemaran air adalah limbah industri karena limbah industri menghasilkan polutan yang mengandung zat-zat berbahaya bagi tubuh manusia seperti mikroba patogen. Selama ini, proses pengolahan air cenderung memanfaatkan senyawa-senyawa kimia yang mengakibatkan terbentuknya limbah baru yang lebih berbahaya. Teknik yang lebih aman untuk menanggulangi tersebut adalah menggunakan membran. Penelitian ini fokus pada pembuatan membran yang lebih tahan terhadap kerusakan melalui pengaturan pori-porinya. Metode yang digunakan untuk membuat membran adalah metode *template leaching* dengan PMMA sebagai *template*. Metode *template leaching* diawali dengan melapisi substrat menggunakan PMMA yang telah dilarutkan ke dalam aseton, setelah mengering, substrat tersebut dicelupkan ke dalam sol TiO_2 yang telah disintesis. Substrat didiamkan selama 17 jam agar partikel sol TiO_2 dapat menginterstisi ke dalam celah-celah PMMA dengan sempurna untuk kemudian dikalsinasi pada suhu 550°C selama 4 jam. Kemudian sampel dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX dan XRD. Berdasarkan hasil uji SEM didapatkan ukuran pori terhadap konsentrasi PMMA 0, 2%, 3%, 4% berturut-turut adalah 1900 – 2000 nm, 860,5 – 1669 nm, 312,8 – 382,5 nm, dan 136,1 – 269,7 nm sedangkan dari hasil EDX menunjukkan adanya unsur-unsur Ti dan O presentase atom masing-masing 3,03 % dan 66,81%. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa TiO_2 yang terbentuk selama proses sol gel adalah 100% dengan fase anatase pada sudut difraksi $25,406^\circ$.

Kata kunci: Membran, TiO_2 , PMMA, *template leaching*

MICROSCOPIC STUDY TiO_2 POROUS MEMBRANE BASED POLYMETHYL METHACRYLATE AS TEMPLATE

ABSTRACT

One source of water pollution is industrial waste as industrial waste produces pollutants that lack the substances harmful to the human body such as microbial pathogens. During this time, water treatment processes tend to use chemical compounds that cause the formation of a new, more dangerous waste. This study focused on the manufacture of membranes that are more resistant to damage by setting the pores. The method used to make the membrane is a template leaching method with PMMA as a template. This study focused on the manufacture of membranes that are more resistant to damage by setting the pores. The method used to make the membrane is a template leaching method with PMMA as a template. Template leaching method begins by coating a substrate using a PMMA which has been dissolved in acetone, after dries, the substrate is dipped into the TiO_2 sol was synthesized. Substrate allowed by stand for 17 hours in order to be able interstitials TiO_2 sol particles into crevices PMMA perfectly calcination for temperature of 550°C for 4 hours. The samples were cooled at room temperature in the furnace. Finally, characterized the samples with SEM-EDX and XRD. Based on SEM Characterized Obtained porous size was about PMMA concentration of 0%, 2%, 3%, 4% respectively from 1900 to 2000 nm, 860.5 to 1669 nm, 312.8 to 382.5 nm, and 136.1 to 269, 7 nm and the EDX Indicated that the element of Ti and O with the percentage of 3.03% and 66.81%. Output has been show of XRD that during sol-gel TiO_2 forming process was 100% within diffraction angle 25.406° in anatase forming.

Keywords: Membrane, TiO_2 , PMMA, *template leaching*

PENDAHULUAN

Salah satu faktor penyebab minimnya ketersediaan air bersih adalah pencemaran air. Secara spesifik pencemaran air didefinisikan sebagai penyimpangan sifat-sifat air dari keadaan normalnya (Fahtomiaji, *et al.* 2013). Salah satu sumber pencemaran air adalah limbah industri karena limbah industri menghasilkan polutan berupa zat-zat berbahaya bagi tubuh manusia seperti mikroba patogen.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk menyelesaikan masalah tersebut salah satunya dengan mengembangkan teknologi membran. Menciptakan membran penyaring (*filter*) dalam bentuk *flat* membran, membran *hollow fiber*, membran bioreaktor hingga pemanfaatan membran fotokatalis yang diaplikasikan dalam bentuk lapisan tipis (Asteti, *et al.* 2007). Membran merupakan alternatif terbaik untuk membantu proses pengolahan air (*water treatment*) karena lebih sederhana dan murah (Zhang, *et al.* 2012). Keuntungan lain dari pemanfaatan membran adalah memiliki ketahanan kimia yang baik dan tahan pada kondisi pH yang ekstrim (Nunes, *et al.* 2001).

Pada umumnya, membran yang digunakan saat ini adalah membran berbahan dasar polimer karena lebih mudah pembuatannya. Jika dibandingkan dengan membran polimer, membran keramik memiliki kekuatan dan struktur yang lebih baik untuk proses pengolahan air (*water treatment*) karena memiliki beberapa kelebihan seperti tahan dan stabil pada suhu yang tinggi, tahan terhadap penekanan, memiliki stabilitas yang baik terhadap bahan-bahan kimia dan tahan aus (Alem, *et al.* 2009).

Membran berpori TiO_2 menjadi fokus utama penelitian saat ini karena TiO_2 merupakan biokeramik yang bersifat nontoksik (tidak beracun) sehingga aman digunakan sebagai bahan dasar pembuatan membran selain itu TiO_2 merupakan senyawa keramik yang mampu mengalami efek fotokatalis jika bereaksi dengan sinar UV. Membran TiO_2 dengan pori yang lebih besar terbukti memiliki kemampuan untuk berfotokatalis lebih baik (Kamegawa, *et al.* 2010). Untuk membuat membran berpori TiO_2 , metode yang dapat digunakan adalah penggunaan *template* polimer sebagai

kerangkanya. Jenis polimer yang biasa digunakan sebagai *template* adalah PMMA (*Polymethyl methacrylate*) karena PMMA memiliki keunggulan tidak menyebabkan patah (*fracture*) jika dilakukan pemanasan (kalsinasi).

Membran didefinisikan sebagai lapisan tipis selektif dan semipermeabel yang berada diantara dua fasa yaitu fasa konsentrat dan fasa permeat (Pinem, *et al.* 2011). Fasa konsentrat adalah fasa suatu zat yang akan tertahan oleh membran, sedangkan fasa permeat adalah fasa suatu zat yang akan lolos melewati membran karena ukuran partikelnya jauh lebih kecil dari pori membran. Berdasarkan jenis dan struktur membran dapat dibedakan menjadi tiga yakni *Porous* membran meliputi proses pemisahan yang didasarkan pada ukuran partikel yang akan melewati membran. *Porous* membran dibedakan menjadi tiga yakni *macroporous* yaitu membran dengan ukuran pori > 50 nm, *mesoporous* membran dengan ukuran pori antara 2 - 50 nm, dan *microporous* membran dengan ukuran pori < 2 nm.

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan senyawa keramik berupa kristal berwarna putih dan bersifat nontoksik (Gupta, *et al.* 2008). Titanium dioksida tersusun atas ion Ti^{4+} dan O^{2-} dalam konfigurasi oktahedral (Setiawati, *et al.* 2009). TiO_2 mempunyai tiga sistem kristal yaitu *rutile*, *anatase*, dan *brookite*, tetapi hanya *anatase* dan *rutile* yang mudah diamati karena dalam fase *brookite* bersifat tidak stabil. *Anatase* dan *rutile* memiliki struktur kristal tetragonal dengan konstanta kisi yang berbeda dan *brookite* memiliki struktur kristal ortorombik. Perbedaan mendasar kedua struktur kristal *rutile* dan *anatase* terletak pada setiap oktahedron dan susunan rantai oktahedralnya. Pada kedua fasa tersebut, setiap oksigen dan kation titanium yang bertetangga membentuk segitiga datar. Pada *rutile*, ketiga sudut Ti-O-Ti memiliki nilai 120° . Sedangkan pada *anatase* posisi atom pada kisi mengalami distorsi (penyimpangan) sehingga salah satu sudut adalah 180° dan dua lainnya mendekati 90° .

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Bahan : Titanium tetraisopropoksida 97% (Sigma Aldrich), Polymethyl

Methacrylate (PMMA), asam asetat glasial, aseton, etanol 96%, substrat kaca preparat, HCL 37%

Alat : gelas beaker, *magnetic stirrer*, pipet tetes, furnace, SEM-EDX dan XRD

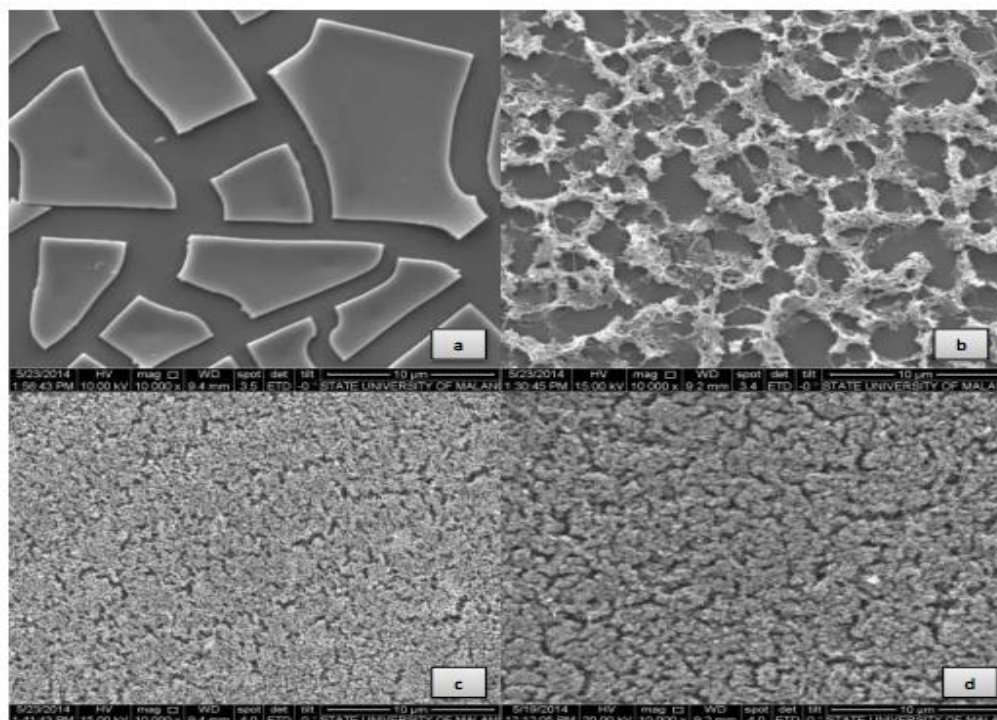
Metode Penelitian

0,2-0,4 gram PMMA dilarutkan ke dalam 10 mL aseton lalu diaduk selama 15 menit hingga terbentuk larutan homogen berwarna bening untuk semua konsentrasi. Waktu yang dibutuhkan untuk melarutkan 0,4 gram PMMA lebih cepat dari 0,2 gram PMMA, kemudian Substrat berupa lembaran kaca dibersihkan dengan etanol 96% untuk menghilangkan kontaminasi senyawa lain dan didiamkan selama 5 menit. Langkah selanjutnya adalah membuat sol. Pembuatan sol TiO_2 diawali dengan mereaksikan etanol 96% sebanyak 90 mL ke dalam 4,8 mL asam asetat glasial untuk mempercepat reaksi hidrolisis, kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 3 menit kemudian ditambahkan 6 mL TTiP yang diikuti penambahan 0,4 mL HCl 37% lalu dilakukan pengadukan selama 2 jam, larutan didiamkan selama 24-60 jam untuk kristalisasi. Setelah proses kristalisasi berlangsung, akan terbentuk sol berwarna bening. Pembuatan

membran berpori TiO_2 diawali dengan melarutkan PMMA ke dalam pelarut aseton dengan konsentrasi 0%,2%,3%,4% (w/w), setelah PMMA larut dengan sempurna, dilanjutkan dengan pembuatan sol TiO_2 sebagai bahan dasar membran melalui metode sol, dilanjutkan dengan pencelupan substrat ke dalam PMMA yang telah dilarutkan tersebut, setelah PMMA mengering, substrat dicelupkan kembali ke dalam sol TiO_2 . Sebagai pembanding, satu sampel hanya dicelupkan ke dalam sol TiO_2 tanpa PMMA. Lalu substrat diangkat perlahan-lahan untuk dikeringkan selama 17 jam pada suhu ruangan. Kemudian keempat sampel dikalsinasi dalam *furnace* pada suhu 550°C selama 4 jam untuk menghilangkan PMMA. Kemudian akan dilakukan uji SEM-EDX dan XRD pada keempat sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Membran TiO_2 berpori berhasil disintesis melalui metode *template leaching* dengan polimer sebagai komponen utama pembentuk porinya. TiO_2 yang digunakan sebagai bahan dasar membran berbentuk sol dengan Titanium Tetraisopropoksida (TTiP) sebagai prekusornya.



Gambar 1. Citra SEM Morfologi Membran TiO_2 Berbagai Variasi PMMA untuk Perbesaran 10.000x (a). S1 Tanpa PMMA, (b). S2 PMMA 2%, (c). S3 PMMA 3%, (d). S4 PMMA 4%

Prekursor TTiP merupakan salah satu oksida logam yang mampu tersuspensi menjadi partikel koloid jika bereaksi dengan alkohol (Wilman, 2007). Saat prekursor bereaksi dengan alkohol akan terjadi reaksi hidrolisis yang menghasilkan sol. Dari hasil uji SEM sampel 1 (S1), sampel 2 (S2), sampel 3 (S3) dan sampel 4 (S4) didapatkan hasil sebagai berikut : Membran yang telah dicetak di atas kaca preparat masih berupa lapisan yang sangat tipis, karena hanya menggunakan 1 kali pelapisan. Sehingga membutuhkan metode yang tepat untuk menunjukkan adanya senyawa TiO_2 pada lapisan tipis tersebut. Adanya senyawa TiO_2 dibuktikan melalui karakterisasi *Energy Dispersive X Ray Spectroscopy* (EDX). Adapun hasil dari karakterisasi EDX akan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Karakterisasi EDX

Komponen	Wt%	At%
Unsur		
OK	53.12	66.81
NaK	21.39	18.72
MgK	06.98	05.78
CaK	11.29	05.67
TiK	07.21	03.03

Dari citra SEM pada Gambar 1. (a) - (d) terlihat bahwa PMMA memiliki pengaruh yang sangat signifikan pada terbentuknya pori. Gambar 1. (a) merupakan citra SEM untuk sampel 1 yaitu membran TiO_2 tanpa penggunaan *template* PMMA, hasilnya terlihat penuh dengan retakan (*cracking*) dengan jarak antar patahan yang sangat besar. Retakan terjadi karena sol yang disintesis memiliki kadar pelarut yang cukup tinggi (Kajitvichyanukul, *et al.* 2005), dan pada sampel 1 sol yang dicetak di atas kaca tidak berinteraksi dengan senyawa lain, sehingga saat sebagian pelarut menguap akan tersisa retakan-retakan yang cukup besar karena menyusutnya sol akibat pengaruh panas seperti terlihat pada gambar (Santos, *et al.* 2013).

Gambar 1 (b) Merupakan citra SEM untuk sampel 2 yaitu membran TiO_2 dengan kadar PMMA 2%, terlihat bahwa distribusi porinya cukup merata dengan ukuran pori yang besar dan terbentuk ikatan antar partikel TiO_2 seperti jaring-jaring. PMMA yang dicetak di atas substrat telah menjadi gumpalan seperti plastik yang sangat tipis.

Pada konsentrasi 2 % partikel larutan PMMA yang terbentuk tidak serapat konsentrasi 3% dan 4%. Jika partikel PMMA yang terbentuk tidak begitu rapat, maka distribusi partikel sol TiO_2 juga kurang rapat dan merata, setelah proses kalsinasi berlangsung PMMA akan hilang dan menghasilkan pori-pori yang cukup besar karena banyak bagian PMMA yang dapat dihilangkan selama proses kalsinasi.

Gambar 1 (c) merupakan citra SEM untuk sampel 3 yang menunjukkan adanya gumpalan TiO_2 yang cukup seragam. Pada sampel 3 ini, PMMA yang digunakan memiliki konsentrasi yang lebih besar dari sampel sebelumnya, saat PMMA yang terlarut cukup tinggi maka partikel polimer yang terbentuk juga akan semakin banyak (Zhao, *et al.* 2001). Dengan semakin banyaknya PMMA terlarut *template* akan lebih rapat dari membran sebelumnya, semakin rapat susunan *template* maka partikel sol yang meresap ke dalamnya juga akan semakin merata hal tersebut akan membuat partikel sol semakin tumpang tindih, saat terjadi kalsinasi partikel polimer akan memuai kemudian hilang secara perlahan menyisakan partikel TiO_2 yang saling menggumpal. Ukuran dan distribusinya pori-pori yang terbentuk memang tidak dapat seragam hal tersebut dikarenakan PMMA yang dicetak di atas substrat telah menjadi lapisan seperti plastik sehingga saat dikalsinasi yang hilang sudah bukan berupa partikel tetapi berupa gumpalan-gumpalan yang seperti plastik tersebut dan hal tersebut terlihat dari citra SEM dimana terdapat pori-pori yang ukurannya cukup panjang.

Gambar 1 (d) merupakan sampel 4 yang menunjukkan adanya gumpalan TiO_2 yang juga hampir seragam seperti pada gambar sebelumnya, jika ditinjau dari struktur pori, sampel 4 memiliki pori yang lebih kecil dari sampel-sampel sebelumnya karena PMMA yang digunakan memiliki konsentrasi yang cukup besar diantara semuanya yaitu 4%. Semakin pekat konsentrasi PMMA maka semakin rapat partikelnya sehingga akan membuat partikel sol TiO_2 semakin rapat, sehingga semakin tumpang tindih antar partikel solnya, saat kalsinasi berlangsung semakin kecil pula bagian gumpalan PMMA yang akan hilang,

sehingga semakin besar konsentrasinya semakin kecil pori-pori yang terbentuk.

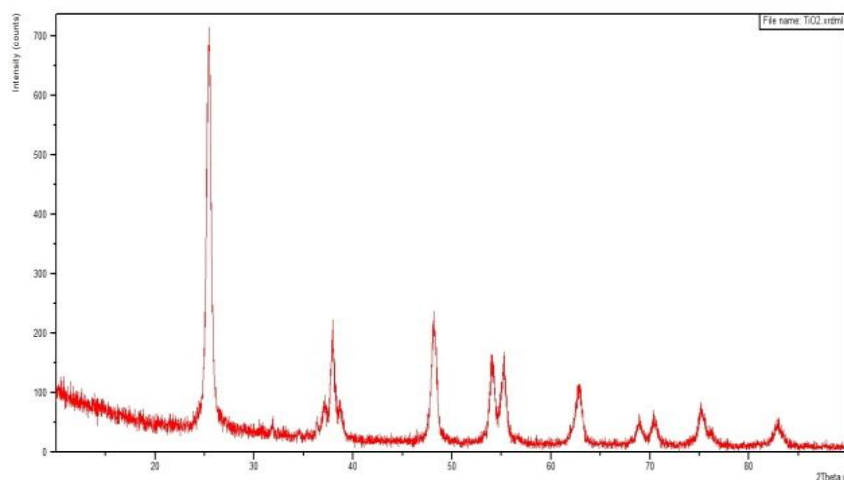
Tabel 2 merupakan hasil karakterisasi EDX untuk sampel yang telah disintesis. Hasil menunjukkan bahwa ada unsur Ti-K α dan O-K α , hal tersebut mengindikasikan adanya unsur Ti dan O yang mengalami transisi dari kulit L ke kulit K sebagai sinar X karakteristik. Tetapi kadar Ti tidak begitu dominan karena hanya dilakukan satu kali pelapisan substrat. Unsur yang sangat dominan adalah Na, Mg dan Ca karena unsur tersebut merupakan unsur utama pembentuk kaca preparat yang digunakan sebagai substrat dalam penelitian ini (Thermo Scientific, 2008). Unsur O juga cukup dominan karena selain unsur pembentuk TiO₂ juga merupakan unsur pembentuk kaca. Meskipun unsur Ti tidak begitu dominan, hasil tersebut telah menunjukkan adanya unsur-unsur pembentuk TiO₂.

Data yang ada pada Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi *template* maka ukuran pori membran akan semakin kecil. Tanpa penambahan PMMA jarak antar patahan membran TiO₂ terlihat cukup besar yaitu berada pada kisaran 1900-2000 nm, pada penambahan PMMA 2% ukuran porinya 860,5–1669 nm, penambahan PMMA 3% dihasilkan ukuran pori 312,8-382,5 nm dan pada penambahan PMMA 4% membran memiliki ukuran pori terkecil diantara ketiganya yaitu 136,1–269,7 nm.

Semakin besar konsentrasi PMMA, maka susunan partikelnya akan semakin rapat

sehingga akan semakin kecil pori-porinya. Adanya PMMA akan membuat partikel TiO₂ menginterstisi atau mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel PMMA. Jika partikel *template* semakin rapat maka partikel sol TiO₂ juga akan tersebar merata dan saling berdekatan, saat dilakukan kalsinasi, PMMA akan hilang meninggalkan lubang-lubang yang dinamakan pori. Jika ditinjau dari keseragaman pori, sampel 2 merupakan sampel terbaik dijadikan sebagai kandidat membran, karena pori-porinya hampir seragam, tidak menggumpal pada salah satu titik saja, tetapi dengan ukuran pori yang cukup besar sampel 2 kurang selektif. Jika ditinjau dari keselektifan membran, sampel 4 merupakan sampel terbaik karena ukuran pori-porinya lebih kecil dari ke 3 sampel lainnya. Ukuran dan distribusi pori yang terbentuk pada membran TiO₂ pada penelitian ini masih belum maksimal, karena masih memanfaatkan PMMA yang harus melalui proses pelarutan, sehingga penguapan pelarut memberikan dampak yang kurang baik pada porositas membran.

TiO₂ disintesis melalui metode sol gel, beberapa bagian sol yang digunakan sebagai bahan pembuat membran diaging selama 2 minggu untuk menghasilkan gel berwarna putih seperti agar-agar, kemudian dikalsinasi pada suhu 550⁰ C selama 4 jam, selanjutnya akan terbentuk serbuk yang berwarna putih untuk kemudian dilakukan uji fase kristal menggunakan XRD tipe PANalytical. Hasil uji fase Kristal XRD akan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik XRD untuk Serbuk TiO₂ pada suhu kalsinasi 550⁰ C

Dari grafik yang didapatkan, dapat diidentifikasi struktur kristal TiO_2 yang terbentuk adalah *anatase* karena intensitas maksimum berada pada sudut $25,406^\circ$ tidak terlihat puncak-puncak lain yang merepresentasikan fase *rutile*. Berdasarkan data JCPDS sudut $25,406^\circ$ merupakan TiO_2 yang berfase *anatase* dengan bidang hkl [1 0 1]. Analisa hasil XRD lainnya menunjukkan bahwa kadar TiO_2 hasil sintesis yang terbentuk adalah 100%. Suhu kalsinasi 550°C merupakan suhu optimal pembentukan TiO_2 yang berfase *anatase* (Zhang, *et al.* 2012).

Proses pembentukan fase terjadi karena pengaruh perlakuan suhu yang diberikan selama proses kalsinasi, fase *anatase* merupakan fase terbaik TiO_2 untuk melakukan efek fotokatalis. Karena pada fase tersebut TiO_2 memiliki budang penyerapan foton yang cukup luas dibandingkan fase *rutile*.

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan, membran TiO_2 yang disintesis dapat dijadikan sebagai kandidat membran mikrofiltrasi karena ukuran pori yang terbentuk antara 100 – 10000 nm. Selain untuk mikrofiltrasi, membran tersebut juga dapat dijadikan membran fotokatalis karena tersusun dari material TiO_2 yang merupakan material semikonduktor fotokatalis. Salah satu syarat semikonduktor yang baik adalah strukturnya berpori untuk meningkatkan luas permukaan penyerapan foton selama proses fotokatalis berlangsung (Rissa, *et al.* 2012).

KESIMPULAN

1. PMMA memiliki pengaruh yang signifikan terhadap terbentuknya pori-pori membran. Semakin besar konsentrasi PMMA maka semakin kecil ukuran pori yang terbentuk.
2. Konsentrasi PMMA yang optimal digunakan sebagai pembentuk pori adalah 4%.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M. dan Khairurrijal, 2009, *Review : Karakterisasi Nanomaterial*, Jurnal Nanosains dan Teknologi Vol. 2 No. 1, ISSN 1979-0880.
Alem, *et al.* 2009. *Ceramics.Soc.* 29:20.

Andayani,W. dan Sumartono,A., 2007, *Karakterisasi Katalis TiO_2 dan TiO_2 /Karbon Aktif yang Diimobilisasikan Pada Pelat Titanium*. Indo. J. Chem., 7 (3), 238-242.
Billmeyer, F.W, 1984, *Textbook of Polymer Science 3rd Edition*. Jhon Wiley & Sons, New York.
Byranvand, M.M., Kharat,N.A., Fatholahi,L., and Beiranvand,L.M., 2013, *a Review on Synthesis of Nano- TiO_2 Via Different Methods*, Iran, Journal of Nanostructure, JNS 3 1-9.
Chang, Raymond, 2003, *Kimia Dasar : Konsep-konsep Inti Jilid 2 edisi ketiga*. Alih bahasa : Suminar Setiati, Jakarta : Penerbit Erlangga.
Fahtomiaji, *et al.* 2013. *Penyusunan Penuntun Praktikum Pada Materi Pencemaran di SMA Berdasarkan Uji Kualitas Air Sungai Kapuas*. Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Untan.
Flemming, HC. 1997. *Experiment Thermal Fluida Science*. 382:14.
Gupta, K.K., Jassal, M. and Agrawal A.K., 2008, *Sol-gel Derived Titanium Finishing of Cotton Fabric For Self Cleaning*, Indian Journal of Fibre & Textile Research Vol. 33,pp. 4430450.
Kajitvichyanukul,Puangrat.,Ananpattarachai, Jirapat., Pongpom, Siriwan., 2005, *Sol-gel preparation and properties study of TiO_2 thin film for photocatalytic reduction of chromium(VI) in photocatalysis process*, Science and Technology Advance Materials 6 352-358.
Lee, D.S. and Liu, T.K, 2001, *Preparation of TiO_2 Sol Using TiCl_4 as a Precursor*, Journal of Sol Gel Science and Technology 25, 121-136.
Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membran Technology, 2nd ed.*, Kluwer Academic and Publisher, Dordrecht.
Nunes, S.P., Peinemann, K.V., Ohlrogge, K., *Membrans of Poly(ether imide) Nanodispersed Silica*. Journal of Membran Science. 99: 31633171.
Paulose , *et al.* 2008. *Membran Science*. 319:199
Pinem, J.A. dan Angela, R., 2011, *Sintesis Dan Karakterisasi Membran Hibrid PMMA / TEOT : Pengaruh*

- Konsentrasi Polimer*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” ISSN 1693 – 4393.
- Rissa, L.V., Priatmoko, S., Harjito, 2012, Sintesis Lapisan Tipis Berbasis Nanopartikel Titania Termodifikasi Silika Secara Sol-Gel Sebagai Bahan *Antifogging*, Jurnal MIPA 35(1) Unnes.
- Santos, A.A.R., Acevedo, P.P., Cordoba, AE., 2013, *Photo-assisted electrochemical copper removal from cyanide solutions using porous TiO₂ thin film photo-anodes*, Mat Res Vol.7 No.1 Sao Carlos, Brazil
- Septina, W, 2007, *Sintesa Nanokristal Mesopori TiO₂ dengan Metoda Sol-Gel*, Bandung, Tugas Akhir ITB.
- Setiawati, T., I.S, Amalia. dan A.A., Wisnu, 2006, *Sintesis Lapisan Tipis TiO₂ Dan Analisis Sifat Fotokatalisnya*, Jurnal Sains Materi Indonesia hal : 141 – 146 ISSN : 1411-1098.
- Thermo Nicolet Corporation, 2001, *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry*.
- Tjahjanto, R.T. dan Gunlazuardi, J., 2001, *Preparasi Lapisan Tipis TiO sebagai Fotokatalis : Keterkaitan Antara Ketebalan dan Aktivitas Fotokatalisis*, Makara, Jurnal Penelitian Universitas Indonesia Volume 5, nomor 2, Seri Sains, Desember 2001 [hal. 81-91].
- Torres, F.G., Troncoso, O.P., Piaggio, F. and Alfredo, H., 2010. *Structure–Property Relationships of a Biopolymer Network: The Eggshell Membran*. Peru. *Jornal of Acta Biomaterialia* 6 (2010) 3687–3693.
- Zhang, H., Dong, F., Fang, S., Ye, C., Wang, M., Cheng, H., Han, Z. and Zhai, S., 2012 *Fabrication of Macroporous Titanium Dioxide Film Using PMMA Microspheres as Template*, *Journal of Colloid and Interface Science* 386.